第 21 卷 第 4 期　　昆 虫 学 报　　Vol. 21, No. 4
1978 年 11 月　　ACTA ENTOMOLOGICA SINICA　　Nov., 1978

家蚕人工饲料的研究：饲料理化因素对家蚕摄食和生长的影响*

蔡幼民　王红林　何家禄　李素珍
（江苏省蚕业研究所）

摘　要　本文研究了人工饲料某些理化因素对蚕儿摄食和生长的影响，从而阐明家蚕生长发育过程中在摄食行为和营养上的特点和变化。

1.试验表明：绿原酸、桑色素、肌醇可增进蚁蚕摄食；β-谷固醇、没食子酸对保证小蚕正常发育甚为重要，绿原酸、桑色素、肌醇也有良好影响；相比之下，上述一些因子对 5 龄大蚕的作用较小。此外未看到 β-谷固醇对蚁蚕的摄食促进效果。

2.大豆粉的醚溶性成份中，含有影响蚁蚕摄食的忌避物质。大豆粉经 90% 甲醇处理，可以除去某种水溶性因子，有利小蚕生长；对比之下，上列因素对大蚕的损害较小。比较了二种常见防腐剂对家蚕摄食、成长的影响：山梨酸的饲蚕成绩优于丙酸。

3.在本试验基本组成条件下，收蚁、小蚕、大蚕所用饲料的含水率分别以 77%、73%、71%左右为宜。实验说明，蚕儿饲育效果还受饲料中具有成形作用组份的影响。

4.调查了饲料 pH 和蚕儿摄食、成长的关系：以某些适宜的有机酸（如柠檬酸、抗坏血酸）调节饲料的 pH 在 5 左右为好。

5.由于不同发育阶段的蚕儿对摄食、成长促进因子的感受性和对忌避因素的耐受性均不相同，从而提出，对蚕儿作全龄饲育，至少应分别设计为收蚁用、1—4 龄小蚕用、5 龄大蚕用三种饲料。此外，不同品种家蚕对人工饲料适应性的差别，与对饲料理化条件需求的不同也有一定联系。灵活运用上述结果，将有助于改良饲料组成，降低成本和广辟原料来源。

一、前　　言

家蚕（*Bombyx mori* L.）是重要的经济昆虫，蚕业生产是我国农村传统副业。但家蚕食性专一，几千年来，向以桑叶饲养。家蚕人工饲料是根据蚕的食性特点和营养要求，采用适当材料，经人工配制而成，以代替桑叶养蚕。人工饲料的研制成功，打破了家蚕自然饲料的限制，推动着家蚕营养生理学的发展，并为蚕病防治、蚕品种选育等方面的研究提供了良好的实验条件，最终能使家蚕饲养摆脱自然条件的束缚，实现蚕茧生产的全年化和工厂化，为增产蚕丝开拓新途径。

家蚕人工饲料的研究，国外开始于六十年代初叶（福田等，1960；伊藤等，1960）。六十年代以来，国内有关单位也陆续开展了一些试验；我所于 1974 年已获成功：使用人工饲料养蚕，能正常完成整个世代发育，饲养成绩与桑叶育相似。是年中国农林科学院养蚕组亦已试验成功。

在家蚕人工饲料的研究中，改进饲料组成是一重要内容，人们除了从营养份的搭配

* 本文承高一陵、吕鸿声同志审阅，工作中得到曹诒孙先生的帮助，并承中国科学院上海生化研究所惠赠试剂，谨致谢忱。

(伊藤,1970、1973),防腐剂的筛选(新村等, 1974)等方面进行试验外,还从蚕的摄食和成长的促进因子(滨村,1962;堀江等, 1962;山田等, 1968;冈内等, 1968;林屋等, 1976),摄食的忌避因素(石川等,1965;福田等,1968;伊藤, 1975),饲料的理化性状(荒井, 1968;伊藤等,1968;堀江,1972;新村,1973; 三好等,1965) 等角度进行了探索。几年来,我们观察了某些化学物质对蚕儿摄食和成长的促进作用,探索了常用饲料成份中的忌避因素及其影响,调查了饲料含水率、pH 等与蚕儿摄食、成长的关系,看到上述各项因子,因蚕的发育阶段、品种、及所用饲料的基本组成等等不同,而表现不同的作用。

二、材料和方法

(一) 供试蚕品种

苏 3 × 苏4、东 34 × 603、东肥、华合、苏 4 等。

(二) 供试人工饲料

供试人工饲料的基本组成见表 1。

表 1 家蚕人工饲料的基本组成

成份 \ 重量(克) \ 饲料别	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号
桑叶粉	75	50	50		
脱脂大豆粉		25	25	50*	44*
山芋淀粉	5	10	10	15	15
蔗 糖	5	5	5	10	10
柠檬酸	1.75	3	1	1	2
维生素 C		2	2	1	2
维生素 B 类	39毫克	40毫克	176 毫克	60毫克	60毫克
肌 醇				0.45	0.5
氯化胆碱				0.2	0.5
没食子酸		0.4		0.45	0.5
桑色素		0.2		0.3	0.3
绿原酸				0.3	0.2
β-谷固醇				0.7	0.5
大豆油					0.3 毫升
无机盐混合物		1		1	0.9
K_2HPO_4				0.45	0.5
纤维素粉				25	28
氯霉素	50毫克	25毫克	50毫克	50毫克	24毫克
山梨酸	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
琼 脂	7.5	10		10	10
水	370 毫升	240 毫升	200 毫升	300毫升	260毫升

* 该脱脂大豆粉经乙醚、90%甲醇作抽提处理。

（三）饲料的配制和饲养方法

饲料配制：准确称取各种成份，将桑叶粉、大豆粉、淀粉等混合在一起研磨搅拌均匀，另将蔗糖、琼脂等放入适量水中，加热使溶，然后将上述混合粉倒入溶液中调匀，再经蒸煮消毒 15 分钟，维生素 C 则以一定量的灭菌水溶解，最后混入其中而成。冷却后存放于4℃左右冷库中备用。

饲育温度：1—4 龄 30℃，5 龄 25℃（夏秋高温季节则为自然温度）。

喂饲回数：一日一次。

（四）调查项目和方法

蚁蚕试验：每处理取蚁蚕 50 头，设二重复区，各种供试饲料喂养一天后，调查摄食蚕数（以蚕体长大与否判别）及平均蚕体重，以表示饲料的理化因素对蚁蚕摄食的影响（结果为二区平均值）。

小蚕试验：蚁蚕先以 1 号饲料喂养一天后，随机取蚕分区，每处理 50 头设二重复区，再用各供试饲料饲养一定时间（一般在 3 龄眠、4 龄起为止），调查发育速度、平均蚕体重以表示饲料理化因素对小蚕成长的影响（结果为二区平均值）。

大蚕试验：小蚕期分别以 1 号、2号饲料喂养到 4 龄眠，5 龄起蚕后，称取相同体重的蚕儿20头分区，再用各供试饲料饲养到老熟结茧，调查结茧头数、全茧量、茧层量、茧层率，以表示饲料理化因素对大蚕饲育成绩的影响。

大豆粉含脂率测定：按索氏抽提法进行。

饲料的 pH 测定：取一定量的饲料加 5 倍重量蒸馏水搅溶，以雷磁—25 型 pH 计测定。

三、某些化合物对蚕儿摄食成长的影响

本文选取了绿原酸、桑色素、肌醇、β-谷固醇、没食子酸等几种化合物，研究了在不同

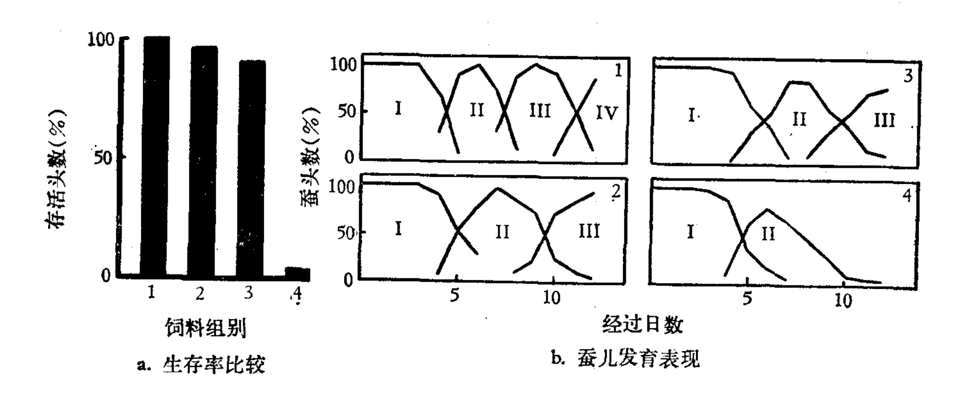


图 1　某些化合物对蚕儿生长发育的影响

1）供试饲料：5 号；蚕品种：苏3×苏 4 。

2）饲料组别 1：对照饲料，2：饲料中无绿原酸，3：饲料中无绿原酸及肌醇 4：饲料中无绿原酸及 β-谷固醇。

3）I、II、III、IV 代表不同发育龄期。

条件下，上述物质对蚕儿摄食成长的作用。结果见表 2、3、4 及图 1。

表 2 某些化合物对蚊蚕摄食的促进效果观察*

实验组别	饲料成份组别	供试头数	蚕品种：苏3×苏4		蚕品种：东 34×603	
			摄食蚕率(%)	蚕体重(毫克/头)	摄食蚕率(%)	蚕体重(毫克/头)
I	对照	50	100	2.02	94	1.63
	无绿原酸	50	73	1.24	43	0.80
	无桑色素	50	50	0.93	17	0.50
	无肌醇	50	83	1.55	57	1.14
	无没食子酸	50	98	2.01	94	1.70
	无β-谷固醇	50	100	1.88	98	1.72
II	无 β-谷固醇	50	94	1.72	72	0.96
	β-谷固醇 800毫克	50	91	1.92	57	1.14
	β-谷固醇1600毫克	50	83	1.74	27	0.76
	β-谷固醇3200毫克	50	82	1.01	4	0.40
	无 β-谷固醇	100	100	1.51	94	1.40
	β-谷固醇3830毫克	100	92.5	1.37	14	0.51
III	无没食子酸	100	86	1.48	77	1.53
	没食子酸 450 毫克	100	75	1.04	71	1.21
	对照	50	99	1.89	86	1.46
	无桑色素	50	100	1.91	83	1.38
	无没食子酸	50	99	1.90	86	1.37

实验组别	饲料成份组别	供试头数	蚕品种：苏3×苏4		蚕品种：东34×603		蚕品种：东肥	
			摄食蚕率(%)	蚕体重(毫克/头)	摄食蚕率(%)	蚕体重(毫克/头)	摄食蚕率(%)	蚕体重(毫克/头)
III	对照	50	99	1.89	87	1.41		
	加肌醇 100 毫克	50	100	1.81	94	1.61		
	对照	50	100	1.97	86	1.46		
	加 β-谷固醇100毫克	50	100	1.94	61	1.11		
	加 β-谷固醇200毫克	50	100	2.03	57	1.06		
IV	对照	50					100	2.02
	加绿原酸 300 毫克	50					100	2.18
	对照	50	98	1.85			100	2.24
	加桑色素 100 毫克	50					100	2.34
	加桑色素 150 毫克	50	100	1.83				
	对照	50	100	2.02	100	1.90	100	1.48
	加肌醇 625 毫克	50	100	1.96	100	1.90	100	1.57
	对照	50	100	1.96	100	1.90	100	2.04
	加没食子酸	50	100	1.96	100	2.00	100	2.04
	对照	50	100	1.96	100	1.90	100	2.04
	加 β-谷固醇500毫克	50	100	2.05	100	1.84	100	2.10

* 实验 I、II 以 4 号饲料供试，实验 III、IV 各以 2 号、1 号饲料供试。实验 I 用饲料中另加诱食成份少量，实验 II 用饲料中未加其它诱食成份，经饲育 2 日后调查。

表 3　某些化合物对小蚕成长的影响*

饲料成份组别	供试头数	蚕品种：苏3×苏4				蚕品种：东34×603				蚕品种：东肥			
		经过日数	发育表现		蚕体重（毫克/头）	经过日数	发育表现		蚕体重（毫克/头）	经过日数	发育表现		蚕体重（毫克/头）
			4龄蚕数	3龄蚕数			4龄蚕数	3龄蚕数			3龄蚕数	2龄蚕数	
对　照	50	11	9	41	134					11	37	13	134
加绿原酸 200 毫克	50	11	21	29	138					11	50	0	148
对　照	50	11	47	3	215	11	36	14	180				
无桑色素	50	11	38	12	185	11	34	16	162				
对　照	50	11	47	3	215	11	36	14	180				
无没食子酸	50	11	31	19	153	11	28	22	144				
对　照	50	11	18	32	146					11	50		150
加 β-谷固醇200毫克	50	11	9	41	134								
加 β-谷固醇400毫克	50	11	6	44	122					11	50		132
对　照	50	10	36	14	178	11	36	14	180				
加肌醇 100 毫克	50	10	39	11	180	11	34	16	172				

* 该实验以 2 号饲料供试；因小蚕试验是从收蚁一天后的蚕儿开始，故供试饲料的实际饲育时间比表中所列经过日数少一天（后同）。

表 4　某些化合物对大蚕饲育成绩的影响*

饲料成份组别	供试头数	结茧数	全茧量（克）			茧层量（克）			茧层率（%）
			♀	♂	平均	♀	♂	平均	
加桑色素 200 毫克	20	19	2.150	1.900	2.025	0.375	0.383	0.379	18.72
对　照	20	20	2.329	1.778	2.054	0.400	0.344	0.372	18.12
加没食子酸 400 毫克	20	20	2.330	1.680	2.010	0.410	0.360	0.385	19.15
对　照	20	20	2.278	1.654	1.966	0.411	0.364	0.388	19.73

* 该实验以 3 号饲料供试；蚕品种：苏3×苏4。

绿原酸、桑色素、肌醇对蚁蚕摄食有明显促进作用（见表 2）。例如以加有桑色素的 4 号饲料喂饲蚁蚕（苏3 × 苏4）一日后，其摄食蚕数及平均蚕体重比未加者高出一倍。这几种物质对小蚕发育也有良好影响（见图 1、表 3）。例如以 5 号饲料喂养小蚕（苏 3 × 苏 4）11 天，存活率保持 100%，88%的蚕儿已达 4 龄，但如用无绿原酸饲料饲养，存活率降为 96%，且无一头蚕进入 4 龄。β-谷固醇、没食子酸虽未表现摄食促进效果，但对小蚕的生长作用甚大（见图1、表3）。例如，用无绿原酸的 5 号饲料饲养收蚁 1 日后的小蚕 11 天，存活率为 96%，若从这种饲料中再除去 β-谷固醇，结果蚕儿大量死亡，存活率仅为 4%。上述摄食、成长促进物质对大蚕的作用较小，例如当以 3 号饲料供试时，桑色素、没食子酸加入与否茧质成绩没有什么差异（见表 4）。通过试验表明，不同发育阶段蚕儿，对饲料中的摄食、成长促进因素有不同要求，蚁蚕必须具备所需的摄食促进物质，才能积极摄食；小蚕既需适当的摄食促进因素，更须加入一定的成长促进物质，方能良好发育；相比之下，大蚕对上述因素要求较低。

上述化合物的添加效果，又因所用人工饲料组成中，桑叶粉的含量不同而有差异(表2、表3)。例如当以约含50%桑叶粉的2号饲料或以桑叶粉为主体的1号饲料试验时，与以无桑叶粉4号饲料的试验结果不同，某些摄食成长促进物质并未表现作用。因此，对上列促进因子还应根据人工饲料的基本组成来适当选用。

最后，还须指出，滨村(1962)认为β-谷固醇是一种促进蚕儿摄食饲料的因子，可是在我们的实验中并未看到β-谷固醇有提高蚁蚕摄食率的作用。为此又安排了专门实验：首先，以浓度为4%的琼脂片，分别喷上β-谷固醇的乙醚溶液、桑色素的乙醇溶液、绿原酸的水溶液(剂量：对3克琼脂片约各4毫克，β-谷固醇有二种剂量，一为4毫克、一为10毫克)，室温下挥发去溶剂，再加水少许浸润，然后以5龄起蚕(苏3×苏4)放于其上，结果看到，当蚕儿头部一接触到含绿原酸的琼脂片，立即就不断地咬食起来；蚕儿在含桑色素的琼脂上也能咬食之；可是蚕儿放在含β-谷固醇的琼脂片上，无论剂量高低，历时三天，均未见到蚕儿有滨村所报告的咬食反应。其后，又据滨村的介绍(当饲料干物中加入3.2%的β-谷固醇时，可促使蚕儿象吃桑叶那样摄食人工饲料)，以不同量的β-谷固醇加入供试饲料(无桑叶粉)中，低者占饲料干物0.69%，高者占饲料干物3.20%，结果看到，无论β-谷固醇加入量的多少，蚁蚕摄食率亦未见增加。相反，随着β-谷固醇加入量的增大，却表现有影响蚕儿摄食的结果(表2实验II)。此外，正如上文中已经证明的那样，β-谷固醇确是一种生长促进因子，因此在该实验中也看到，在加入少量β-谷固醇(800毫克)的试验区里，虽然摄食蚕率小于对照，但平均蚕体重却高于对照，从而说明，蚁蚕一旦能够摄食饲料后，如饲料中含有适量β-谷固醇，就能成长得更好。滨村曾以蚁蚕摄食含β-谷固醇饲料后排粪量增多，作为促进摄食的根据之一，那么这种排粪量的增加，是由于β-谷固醇的直接促进摄食作用，还是β-谷固醇被吸收到蚕体内，促进成长而又导致摄食量和排粪量增加的反馈作用，不也值得斟酌吗？故而认为，把β-谷固醇称做摄食促进因子似还值得商榷。

四、饲料成份中某些忌避因素的探讨

在人工饲料的组成中去除影响蚕儿摄食成长的忌避因子也受到人们的重视。本文对常用饲料成份大豆粉中的忌避物质作了进一步的探索，并观察了对不同发育阶段蚕儿的作用。又比较了不同防腐剂对蚕儿摄食、成长影响的差异。结果见表5和表6。

据介绍(伊藤，1975)，在大豆粉中含有摄食阻碍物质，并认为该物质是可为90%乙醇(也可用甲醇处理)抽取的水溶性味觉忌避因素。本试验发现，豆粉脱脂程度也与蚕儿摄食密切相关。试验首先证明，降低豆粉含脂率，有利蚁蚕摄食。例如饲料中豆粉含脂率为4.3600%时，苏3×苏4蚁蚕的摄食率为81%，豆粉经乙醚处理含脂率下降到0.1119%后，蚁蚕摄食率提高到94%。其次，不同供试豆粉虽以甲醇作同样处理，但因原含脂水平不同，故最终含脂率仍有差别，也表现随着含脂率降低，蚁蚕摄食情况改善的倾向。例如当以含脂率分别为4.3600%和0.1119%的豆粉，经甲醇作相同处理后，其含脂率各降为0.0093%、0.0058%，制成饲料，蚁蚕摄食率则分别为95%、100%(见表5实验I)。从而说明大豆粉的醚溶性物质中，含有会影响蚁蚕摄食的重要忌避因素。上田悟等(1975)关于用某种脂肪酶处理含大豆油的人工饲料，可促进蚁蚕摄食的报告，也可从另一侧面证实

表 5　不同处理大豆粉对蚕儿摄食和成长的影响*

实验 I　对蚁蚕摄食的影响

处　理**	大豆粉中的粗脂肪(%)	供试头数	蚕品种：苏3×苏4		蚕品种：东34×603	
			摄食蚕率(%)	蚕体重(毫克/头)	摄食蚕率(%)	蚕体重(毫克/头)
豆饼粉	4.3600	50	81	1.39	71	1.04
脱脂豆饼粉	0.1119	50	94	1.42	92	1.22
甲醇处理豆饼粉 (A)	0.7635	50	94	1.49	92	1.19
甲醇处理豆饼粉 (B)	0.0093	50	95	1.39	100	1.22
甲醇处理脱脂豆饼粉	0.0058	50	100	1.56	100	1.29

实验 II　对小蚕成长的影响

处　理	大豆粉中的粗脂肪(%)	供试头数	蚕品种：苏3×苏4				蚕品种：苏3×苏4				蚕品种：东肥×华合			
			经过日数	发育表现		蚕体重(毫克/头)	经过日数	发育表现		蚕体重(毫克/头)	经过日数	发育表现		蚕体重(毫克/头)
				4龄蚕数	3龄蚕数			4龄蚕数	3龄蚕数			4龄蚕数	3龄蚕数	
豆饼粉	4.3600	50	10	27	23	137	9	43	6	165	9	3	47	159
脱脂豆饼粉	0.1119	50					9	44	6	168	9		50	160
甲醇处理豆饼粉	0.7635	50	10	36	14	142								

实验 III　对大蚕饲育成绩的影响(蚕品种：苏3×苏4)

处　理	大豆粉中的粗脂肪(%)	供试头数	结茧数	全茧量(克)			茧层量(克)			♀♂平均茧层率(%)
				♀	♂	平均	♀	♂	平均	
豆　饼　粉	4.3600	20	20	2.270	1.740	2.010	0.350	0.330	0.340	16.91
脱脂豆饼粉	0.1119	20	20	2.330	1.720	2.030	0.370	0.330	0.350	17.24
豆　饼　粉	4.3600	20	20	2.418	1.833	2.126	0.432	0.367	0.400	18.81
甲醇处理豆饼粉	0.7635	20	20	2.529	1.800	2.165	0.443	0.367	0.405	18.71

* 实验 I、II 以 2 号饲料供试，实验 III 以 3 号饲料供试。
** "脱脂豆饼粉"，豆饼粉再经乙醚脱脂 8 小时。
"甲醇处理豆饼粉 A"，豆饼粉以 90%甲醇抽提 1 天，反复 3 次。
"甲醇处理豆饼粉 B"，豆饼粉以90%甲醇抽提 1 天，反复 5 次。
"甲醇处理脱脂豆饼粉"，脱脂豆饼粉以90%甲醇抽提 1 天，反复 5 次。

上述结果。据此认为，蚁蚕饲料所用大豆粉，应予充分脱脂。

我们又以不同处理大豆粉，对不同发育阶段的蚕儿进行了试验，结果首先看到，豆粉经甲醇处理有利小蚕发育(表 5 实验 II)。例如以含脂率各为 4.3600%、0.1119% 的豆粉制作饲料饲养小蚕，两者的发育速度和体重均甚相近；然而用甲醇处理的豆粉作试验时，虽然该豆粉含脂率为 0.7635%，在上述二种供试豆粉的含脂率之间，但却表现有加快发育、增加体重的现象。从而说明豆粉经甲醇处理能促进小蚕生长是由于去除了某种水溶性因子的结果。试验又表明随着蚕的长大豆粉中忌避因素的影响减少(表 5 实验 II、III)。例如上面已介绍两种不同含脂率豆粉饲养小蚕，发育表现几无差别。饲养大蚕茧质成绩亦很相似。又如以甲醇处理豆饼粉作大蚕试验，茧质成绩也与无处理豆饼粉基本相同。故可认为，在小蚕阶段，必要时仅需对含脂量不高的豆饼粉用 90% 甲醇抽提，以利成长；在

大蚕阶段，一般可不必再以乙醚、甲醇作进一步的处理。

所用防腐剂的种类与蚕的摄食和成长也有重要关系，因为某些防腐剂常常具有会影响蚕儿取食和生长的忌避作用。据新村（1974）报告，丙酸不但防腐作用很强而且有促进成长的效果。为此，我们将其与山梨酸作了比较，结果说明，尽管丙酸用量按其介绍控制在 1.5% 左右，但无论从蚁蚕摄食还是从小蚕、大蚕的饲育成绩看来，丙酸均不及山梨酸，当然从丙酸的防腐效果来看，仍不失为一个较好的防腐剂（见表 6）。

表 6　不同防腐剂对蚕儿摄食和成长的影响*

实验 I　对蚁蚕摄食的影响

防腐剂		饲料 pH 值	供试头数	蚕品种：苏3×苏4		蚕品种：东34×603	
山梨酸（克）	丙酸（毫升）			摄食蚕率（%）	蚕体重（毫克/头）	摄食蚕率（%）	蚕体重（毫克/头）
0.30	0	5.22	50	100	2.12	100	2.18
0.20	1.0	5.08	50			100	1.98
0	1.5	5.04	50	100	1.82	100	1.76

实验 II　对小蚕成长的影响

防腐剂	供试头数	蚕品种：苏3×苏4				蚕品种：东34×603				
		经过日数	发育表现		蚕体重（毫克/头）	经过日数	发育表现			蚕体重（毫克/头）
			4 龄蚕数	3 龄蚕数			4 龄蚕数	3 龄蚕数	2 龄蚕数	
山梨酸 0.30 克	50	10	20	30	126	10	33	16		107.2
丙酸 1.5 毫升	50	10	3	47	114	10	3	45	1	79.6

实验 III　对大蚕饲育成绩的影响　　苏3×4苏

防腐剂	供试头数	结茧数	全茧量（克）			茧层量（克）			♀♂平均茧层率（%）
			♀	♂	平均	♀	♂	平均	
山梨酸 0.3 克	20	19	2.133	1.700	1.917	0.389	0.325	0.357	18.63
丙酸 1.5 毫升	20	20	2.075	1.669	1.871	0.375	0.308	0.342	18.25

* 实验 I、II、III 分别以 1 号、2 号、3 号饲料供试。

五、饲料含水率与蚕儿摄食成长的关系

本文着重试验了不同发育阶段蚕儿对饲料含水率的要求，并观察了会影响饲料硬度的成型剂含量变化与蚕儿摄食、成长的关系，结果见图 2 和表 7、8、9、10。

通过试验看到，当以 2 号饲料供试时，饲料含水率低，蚁蚕摄食明显不良。随着含水率上升（在 62.04% 到 76.71% 范围内），摄食蚕率、蚕体鲜重、干重均逐渐增加，继续饲养后的生长情况亦表现相同倾向。但若水份过多，成绩反有下降。饲料含水率在 73.68%—79.65% 之间，蚁蚕摄食较好，以含水率为 76.71% 的成绩最佳（见图 2）。当以 1 号饲料供试时，结果相似，也以含水率在 75.61%—78.88% 间的效果为好（表 7）。综观上述结果认

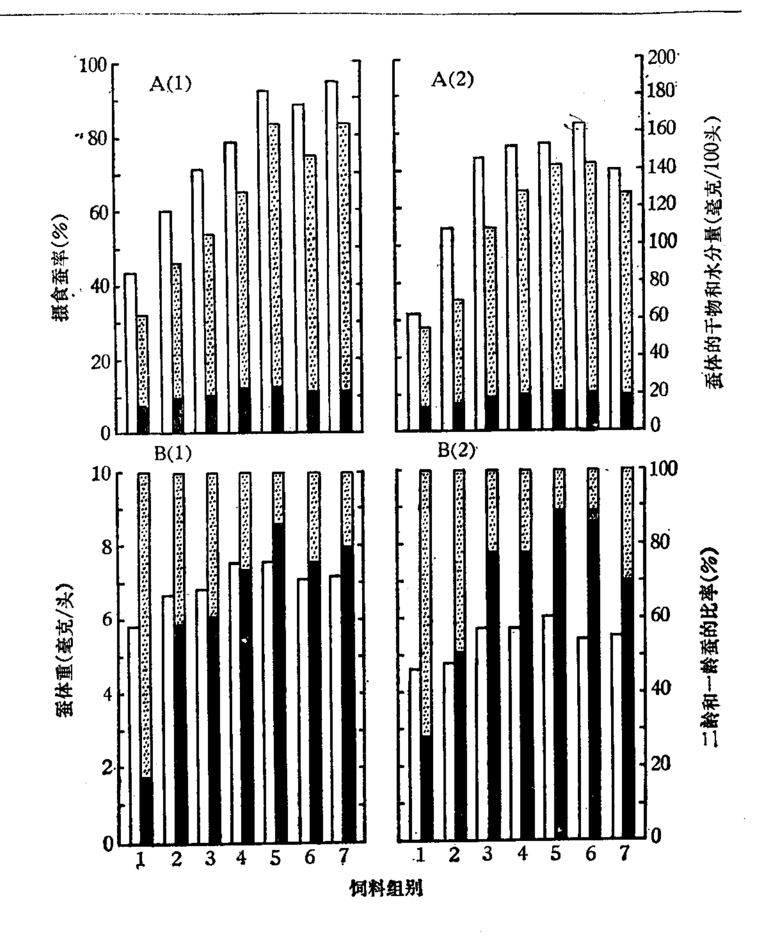


图 2　饲料含水率与蚁蚕摄食的关系

1）A：蚁蚕摄食不同含水量饲料 1 日后的调查

B：以相同饲料继续饲养三日后的调查

2）$A_{(1)}$、$B_{(1)}$：供试蚕品种苏3×苏4，

$A_{(2)}$ $B_{(2)}$：供试蚕品种东 43×603

3）$A_{(1)}$ $A_{(2)}$ 中：□摄食蚕率；■干物量；▨水份量

$B_{(1)}$ $B_{(2)}$中：□ 蚕体重；■二龄蚕比率；▨龄蚕比率

4）饲料含水率各为：

1——62.04%；

2——67.30%；

3——72.66%；

4——73.68%；

5——76.71%；

6——77.98%；

7——79.65%。

表7　饲料不同含水量对蚁蚕摄食的影响*

饲料含水率(%)	供试头数	蚕品种：苏3×苏4				蚕品种：东34×603			
		摄食24小时		继续饲养三天后发育表现		摄食24小时		继续饲养三天后发育表现	
		摄食蚕率(%)	蚕体鲜重(毫克/100头)	2 龄蚕数	1 龄蚕数	摄食蚕率(%)	蚕体鲜重(毫克/100头)	2 龄蚕数	1 龄蚕数
54.44	50	0	50	1	48	0	44	0	49
66.46	50	100	135	18	32	95	104	29	21
70.09	50	100	165	15	35	97	124	27	23
71.80	50	100	172	12	38	98	135	32	18
75.61	50	100	172	29	21	97	142	35	15
78.88	50	100	187	22	28	99	144	37	13
79.26	50	100	178	14	36	99	146	30	20

* 供试饲料基本组成同 I 号。

为，对蚁蚕摄食来说，饲料含水率可调整在 74—80％之间，更以在 77％ 左右为宜。

试验表明，饲料水分率过高或过低均会影响小蚕的发育速度和体重，例如分别以含水率为 62.04％和 73.68％的饲料喂饲东 34 × 603 收蚁一天后的小蚕 10 日，后者供试蚕中已有 87％进入四龄，蚕体重平均达 174 毫克，前者到达四龄的仅占56％，蚕体重也只有 95

毫克。从结果可见,对小蚕来说,饲料含水率在 72.66% 到 73.68% 之间(即在 73% 左右)较好 (见表 8)。

表8 饲料含水量对小蚕成长的影响*

饲料号	饲料含水率(%)	供试头数	经过日数	发育表现		蚕体重(毫克/头)
				4 龄蚕数	3 龄蚕数	
1	62.04	50	11	28	22	95
2	67.30	50	11	34	16	149
3	72.66	50	11	35	15	181
4	73.68	50	11	44	6	174
5	76.71	50	11	36	14	169
6	77.98	50	11	33	17	144
7	79.65	50	11	32	18	156

* 蚕品种: 东34×603。

试验中同样看到,饲料的含水量会影响大蚕的茧质成绩。例如以含水率为 70.79%的饲料饲养,茧层量可达 0.388克,茧层率为 19.73%; 但如以含水率为 77.54% 的饲料喂蚕,不仅茧质差,茧层量只有 0.204 克, 茧层率为 15.81%, 而且因饲料粘附于蚕体表面,堵塞气孔,造成死亡, 结茧率仅为 55%。根据上列结果,对大蚕来说饲料含水率以 70.79% 到 72.68% 之间(即在 71%左右)为好(见表 9)。

表9 饲料含水率对大蚕饲育成绩的影响*

饲料号	饲料含水率(%)	供试头数	结茧数	全茧量(克)			茧层量(克)			♀♂平均茧层率(%)
				♀	♂	平均	♀	♂	平均	
A	67.35	20	20	2.250	1.660	1.955	0.420	0.330	0.375	19.18
B	70.79	20	20	2.278	1.654	1.966	0.411	0.364	0.388	19.73
C	72.68	20	20	2.220	1.660	1.940	0.400	0.360	0.380	19.59
D	75.74	20	20	2.280	1.590	1.940	0.378	0.345	0.362	18.66
E	77.54	20	11	1.500	1.083	1.290	0.240	0.167	0.204	15.81
F**	75.22	20	20	2.240	1.611	1.926	0.420	0.344	0.382	19.84
G**	76.82	20	20	2.270	1.230	1.800	0.400	0.330	0.365	20.28

* 以 3 号饲料供试,蚕品种: 苏3×苏4。
** 饲料中加有琼脂。

试验指出, 饲育成绩不仅受饲料含水率的影响, 还因饲料组成中的成型剂含量而变化。以表 9 为例,饲料D号与饲料 F 号,两者加水量一样,饲料干物除琼脂外相同, F 中仅多加了 5 克琼脂,故两种饲料含水率并无大的不同,饲料D为 75.74%,饲料 F 为 75.22%,但用饲料 F 饲蚕,茧层量可达 0.382 克,茧层率达19.84%,而饲料D饲蚕茧层量仅为 0.362 克, 茧层率为 18.66%。又如当以不同琼脂量的 2 号饲料作小蚕试验时, 饲料鲜重中琼脂含量在 0.59%到 2.88%之间效果较好,含量过高,则发育减慢体重降低(见表 10 实验 II)。再如当以 1 号饲料作蚁蚕试验时,饲料中的琼脂量在 0.22—3.68% (占鲜重)范围内变化,苏3 × 苏4、东34 × 603蚁蚕的摄食状况相差不太大,但原种华合的蚁蚕则有较大区别,琼脂量多明显影响摄食率和体重 (表 10 实验 I)。

表 10　饲料中的琼脂含量对蚕儿摄食和成长的影响*

实验 I　对蚁蚕摄食的影响

琼脂含量（克）	琼脂占饲料干物比率（%）	琼脂占饲料鲜重比率（%）	供试头数	蚕品种：苏3×苏4		蚕品种：东34×603		蚕品种：华合	
				摄食蚕率（%）	蚕体重（毫克/头）	摄食蚕率（%）	蚕体重（毫克/头）	摄食蚕率（%）	蚕体重（毫克/头）
1.0	1.13	0.22	50	100	2.00	100	1.95	100	1.66
2.5	2.78	0.54	50	100	2.04	100	1.90	100	1.76
7.5	7.90	1.61	50	100	1.96	100	1.90	97	1.60
12.5	12.51	2.66	50	100	1.96	100	1.89	99	1.51
17.5	16.68	3.68	50	100	1.82	100	1.96	81	1.28

实验 II　对小蚕成长的影响

琼脂含量（克）	琼脂占饲料干物比率（%）	脂琼占饲料鲜重比率（%）	供试头数	蚕品种：苏3×苏4				蚕品种：东34×603			
				经过日数	发育表现		蚕体重（毫克/头）	经过日数	发育表现		蚕体重（毫克/头）
					4 龄蚕数	3 龄蚕数			4 龄蚕数	3 龄蚕数	
2	2.02	0.59	50	10	29	21	157	10	50		248
4	3.96	1.17	50	10	32	18	147	10	50		253
10	9.35	2.88	50	10	27	23	137	10	48	2	177
15	13.39	4.26	50	10	8	42	124	10	42	8	157

* 实验 I 以 1 号饲料供试，实验 II 以 2 号饲料供试。

含水率是饲料的重要物理性状既关系蚕儿的水份生理要求，又关系影响蚕儿摄食的饲料硬度。关于家蚕对人工饲料含水率的要求，荒井曾报道(1968)饲料水份率可在 70—80% 之间。堀江介绍(1972)大蚕饲料水份率应在 64—73% 范围内。经上述试验认为首先应根据蚕儿的发育阶段来掌握，如小蚕用饲料的含水率就宜比收蚁用饲料偏少。其次，由于饲料的硬度是由含水量、成型剂等诸因素构成(新村，1972)，蚕本身又有一定的水份调节机能(堀江等，1972)，因此饲料中成型剂改变时，也会影响饲育效果。以此用于实践，很有意义，例如为了降低成本，在大蚕饲料中不用琼脂，通过减少含水率也可达到保持饲育成绩良好的目的。其三，注意不同品种对饲料的硬度要求也有益于改善饲育效果。

六、蚕儿摄食成长对饲料 pH 的要求

本文调查了蚕儿摄食成长对饲料 pH 的要求。结果如表 11、12、13、14、15 和图 3 。

试验中首先看到，以 1 号饲料供试时，如柠檬酸含量保持不变而完全不加 Vc，蚁蚕摄食显著不良，摄食率仅为 14%、体重为 0.58 毫克，加有 Vc 0.5 克的饲料，蚁蚕摄食率可达 94%，蚕体重达1.36毫克。但是如果将柠檬酸含量适当增加，即使完全不加维生素 C，蚁蚕照样能很好地摄食(见表11)。从而证明，蚁蚕摄食对饲料中的有机酸含量确有一定要求，而柠檬酸和维生素 C 又有可互相替代的效果。

饲料 pH 与蚁蚕摄食关系的试验表明，用 2 号饲料供试时，以柠檬酸占饲料干物总量

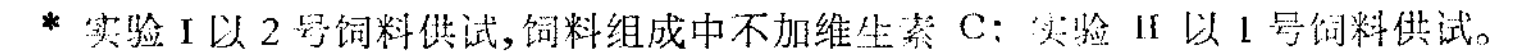
表 11　饲料中的柠檬酸、维生素 C 含量对蚁蚕摄食的影响*

柠檬酸量（克）	维生素C量（克）	供试头数	蚕品种：苏3×苏4		蚕品种：苏4	
			摄食蚕率（%）	蚕体重（毫克/头）	摄食蚕率（%）	蚕体重（毫克/头）
0.50	0	50	14	0.58		
0.50	0.5	50	94	1.36		
0.50	2.0	50	93	1.22		
0.50	4.0	50	92	1.26		
1.75	0	50	100	1.58	91	1.20
2.00	0	50	100	1.37	89	1.22

* 以 1 号饲料供试。

表 12　饲料中的柠檬酸量与饲料的 pH 值*

实验 I	柠檬酸量（克）	0.2	0.6	1.0	2.5	5.0	10.0	
	柠檬酸占干物比率（%）	0.21	0.62	1.03	2.53	4.94	9.41	
	饲料 pH	6.3	6.0	5.7	5.0	4.4	3.9	
实验 II	柠檬酸量（克）	0	0.5	1.0	1.75	3.0	5.0	7.5
	柠檬酸占干物比率（%）	0	0.56	1.12	1.95	3.29	5.37	7.84
	饲料 pH	6.8	6.4	5.9	5.3	4.7	4.3	4.0



* 实验 I 以 2 号饲料供试，饲料组成中不加维生素 C；实验 II 以 1 号饲料供试。

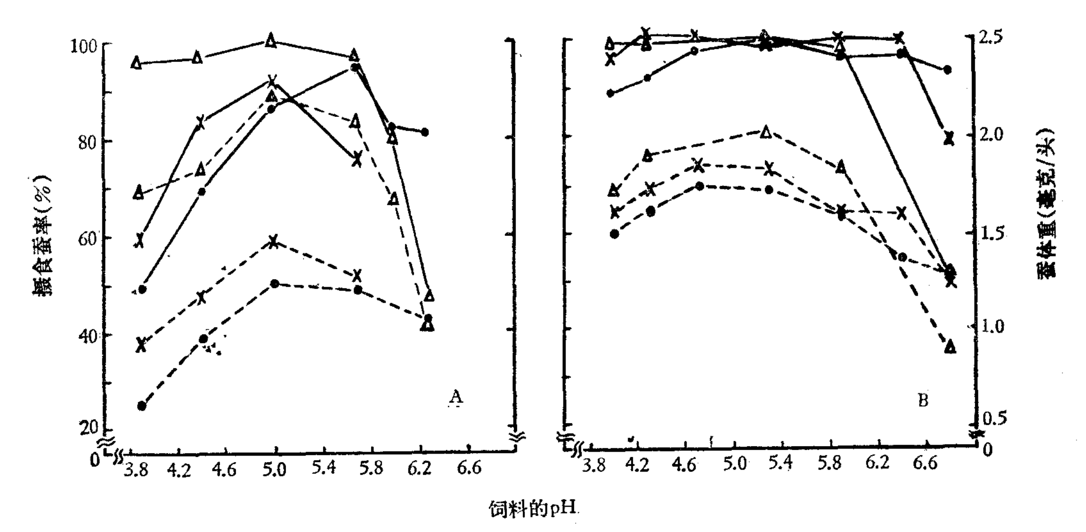


图 3　饲料的 pH 与蚁蚕摄食的关系

●——● 蚕品种，苏4；×——× 蚕品种，苏3×苏4；△——△ 蚕品种，东34×603。—— 摄食蚕率；------ 蚕体重。 A 供试饲料 2 号（组成中不加维分素 C）； B 供试饲料 1 号

2.53%、pH 为 5.0 的效果最好。用 1 号饲料供试时，以柠檬酸占饲料干物总量 1.95—3.29%、pH 值在 4.7—5.3 之间表现较好（见表 12、图 3）。从而说明加入适量柠檬酸使饲料 pH 在 5 左右，有利于蚁蚕摄食。在试验中还看到，不同品种蚁蚕对饲料 pH 的感受性有一定差异。在 pH 3.9—5.7 的范围内，东 34 × 603 蚁蚕的摄食率相差不大，但苏 3 × 苏 4、苏 4 蚁蚕的摄食表现却有较大不同，例如，在饲料 pH 为 3.9 时苏 3 × 苏 4 摄食率

仅有59%，而饲料 pH 在5时，摄食率可提高到92%。苏4的蚁蚕又以饲料 pH 略高于5更为合适。

经试验又可看出，并非仅仅饲料的 pH 值在5左右，蚁蚕摄食就可取得最好效果，用不同 pH 的柠檬酸——柠檬酸钠缓冲液调制饲料，蚁蚕普遍摄食不良，对不同 pH 饲料的摄食情况呈不规律反应（见表13）。进而说明饲料中仍须使用某些合适的有机酸，使饲料 pH 达5左右，才能符合蚁蚕的摄食要求。

饲料 pH 对小蚕成长影响的试验显示，以柠檬酸占饲料干物 2.53—4.94%、饲料 pH 为 4.4—5.0 时较为合适。若柠檬酸含量过低，饲料 pH 在5.7以上，还会影响饲料防腐能力，使蚕儿不能继续饲养下去。若柠檬酸含量过高饲料 pH 在3.9以下，蚕儿也会发育减慢、体重降低（见表14）。

表 13　不同 pH 缓冲液配制的饲料对蚁蚕摄食的影响*

缓冲液别		饲料 pH	供试头数	摄食蚕率(%)	蚕体重(毫克/头)
系　统	pH				
柠檬酸-柠檬酸钠 0.1*M*	4.0	4.7	50	59	0.96
	4.4	5.0	50	56	0.90
	4.8	5.2	50	62	0.97
	5.0	5.3	50	58	0.88
	5.2	5.5	50	74	1.18
	5.6	5.7	50	62	0.80
	6.0	6.0	50	50	0.75
	6.4	6.2	50	23	0.57

* 蚕品种：苏3×苏4；供试饲料为2号。饲料不加柠檬酸和维生素C。

表 14　饲料中的柠檬酸含量对小蚕成长的影响*

柠檬酸量(克)	柠檬酸量占干物比率(%)	饲料 pH	供试头数	蚕品种：苏4				蚕品种：东34×603			
				经过日数	发育表现		蚕体重(毫克/头)	经过日数	发育表现		蚕体重(毫克/头)
					4龄蚕数	3龄蚕数			4龄蚕数	3龄蚕数	
0.2	0.21	6.3	50								
0.6	0.62	6.0	50								
1	1.03	5.7	50								
2.5	2.53	5.0	50	11	40	10	113	10	31	19	155
5	4.74	4.4	50	11	39	11	124	10	39	11	160
10	9.41	3.9	50	11	28	22	112	10	25	25	125

*以2号饲料供试，饲料中不加维生素 C。

大蚕对饲料 pH 的要求，经试验表明，从茧层量、茧层率的综合成绩考虑，以饲料干物中含柠檬酸 2.65%、饲料 pH 在4.9时较好。试验中还看到饲料 pH 在 6.1—4.3 范围内（该实验用饲料的防腐剂作了一些改动，故 pH 6.1 的饲料也未发生腐败），全茧量有随着 pH降低而减小的现象，但饲料 pH 在 6.1—4.9 间，茧层量几无差异、饲料在 pH 4.3 时，虽然茧层重有所降低，但幅度也小于全茧量的减少，因此表现出随着饲料 pH 下降，茧层率

呈有规律升高的结果令人注目(见表 15)。

表 15　饲料中的柠檬酸含量对大蚕饲育成绩的影响*　　(苏3×苏4)

柠檬酸量(克)	柠檬酸量占干物比率 (%)	饲料 pH	供试头数	结茧数	全茧量(克)			茧层量(克)			♀♂平均茧层率 (%)
					♀	♂	平均	♀	♂	平均	
0	0	6.1	20	20	2.470	1.770	2.120	0.390	0.330	0.360	16.98
2	1.08	5.3	20	20	2.420	1.670	2.050	0.400	0.320	0.360	17.56
5	2.65	4.9	20	20	2.330	1.680	2.010	0.380	0.350	0.365	18.16
10	5.16	4.3	20	20	2.110	1.460	1.790	0.370	0.310	0.340	18.99

* 以 3 号饲料供试,饲料中不加维生素 C。

家蚕饲育与饲料 pH 的关系,三好(1968)提出, pH 在 3.8—6.0 的范围内都能取得良好效果。据上述试验结果,还应提出最适要求,在本试验中,对不同发育阶段蚕儿,饲料 pH 均以 5 左右为妥,并可增强饲料的防腐能力。为调节饲料的 pH,需选用适宜的有机酸,以免带来忌避影响或毒害。三好 (1968) 也曾证明,草酸、蚁酸、酒石酸、苹果酸等对蚕表现有阻害作用。饲料的 pH 引起蚕体内物质代谢方向的变化,造成营养物质在蛹体和丝蛋白里存留比例的改变,继续探讨这些问题对进一步研究提高饲料转化成丝的效率,将可能有所启发。

七、讨　　论

关于饲料的理化条件与蚕儿摄食成长的关系,过去人们曾进行过一些研究。但是这些工作常常是局限在特定对象、特定条件下,侧重于说明某种因子的作用。本文则着重研究各种理化因素,对不同发育阶段、不同品种、不同饲料组成条件下蚕儿的影响。通过试验既对上述因子的作用取得一些新认识,更进一步阐明了蚕儿生长发育过程中在摄食行为和营养上的特点和变化。对配制人工饲料也有实践意义。

不同发育阶段蚕儿对饲料理化因子要求的差异就在于对摄食、成长促进因子的感受性不同;对忌避因素的耐受性不一;对饲料物理性状的要求有别。就促进因素而言,蚁蚕对摄食促进因子要求最为严格,小蚕既需一定的摄食促进物质,更需某些成长促进因子,上述因素对大蚕作用较小。就忌避因子来看,摄食忌避因子对蚁蚕影响最大,随着蚕的生长发育,其危害减轻。从饲料含水率来看,小蚕用饲料则应比蚁蚕用饲料略低为宜。而不同龄期的蚕儿对饲料 pH 的要求基本相同。根据上述结果,我们认为仅从蚕儿对饲料理化因素的要求出发,对家蚕作全龄饲育,也应将所用饲料分别设计为收蚁用、1—4 龄用、5 龄用三种组成。设置收蚁专用配方迄今未有报道,但增设收蚁配方有其一定作用。新村(1972) 曾报道蚁蚕摄食最为困难,蚁蚕一旦能够摄食度过疏毛期,其后就能较顺利地发育。鉴于蚁蚕摄食有其特殊要求,某些理化因子对蚁蚕摄食、小蚕成长的影响又有不同,因此针对蚁蚕的食性特点,配制收蚁饲料,促使蚕儿从饲育开始就能积极摄食,对提高生命率和发育整齐度有积极意义。从 1974 年起,我们就使用三种配方对蚕作全龄饲育,取得良好效果。

所谓不同品种对人工饲料适应性的差异(高宫,1968),看来与对饲料理化因素要求的不同也有一定关系。从本文的一些初步观察,看到饲料的酸度、硬度对不同品种的影响就

不同。继续开展这方面的研究，了解其特点，对于改进人工饲料组成以适应不同品种的需要，特别对改善原种的饲育成绩将大有助益。

根据各种理化因子的作用或影响，因饲料的基本组成和发育阶段的不同而灵活运用，将有助于降低饲料成本，广辟饲料来源。例如饲料中加入适量桑叶粉后，由于桑叶粉本身具备多种蚕儿摄食成长促进因子，就可省却添加价格较高的化学物质，这点对收蚁、小蚕用饲料更有价值。又如由于龄期的演进，蚕儿对一些忌避因素的耐受性提高，因此就可根据发育阶段不同来决定某些原料是否需作进一步的精制。当需要带有忌避因素的成份作饲料原料时，可通过处理以去除忌避因子，或在一定限度内用于大蚕饲料中而达利用的目的。

参　考　文　献

福田纪文、须藤光正、樋口芳吉　1960　人工飼料による蚕の飼育。日蚕雑 **29**: 1—3。
伊藤智夫、田中元三　1960　人工飼料による蚕児の飼育および5眠蚕の分離について。日蚕雑 **29**: 191—196。
蔡幼民、王红林、刘大柏、李素珍　1975　家蚕人工飼料育试验(初报)。蚕业科技资料 6: 19—24。江苏省蚕业研究所编。
伊藤智夫　1970　蚕の栄養。蚕系科学と技术，9(连载)。
伊藤智夫　1973—74　蚕の人工飼料。蚕系科学と技术，12—13（连载)。
新村正纯、桐村二郎　1974　カイコの人工飼料における防腐剂の开発。日蚕雑 43: 163—170。
浜村保次　1962　蚕兒摄食の机構に関する研究。京都工芸繊维大学繊维学部学術报告。 **3**(3): 567—82。
堀江保宏　1962　家蚕幼虫の攝食に及ぼす桑叶诸分画の影响。日蚕雑 **31**: 258—64。
山田弘生、加藤勝　1968　桑叶のクロロゲン酸异性体とその生育促进。日蚕雑 **37**: 255。
D. L. Wood, R. M. Silverstein, M. Nakajima 1970 Conrol of insect behavior by naturol Products: 55—80。
林屋慶三、矢嶋正博、広瀬節子　1976　カイコ幼虫の誘引物質に関する研究——誘引物質としてのジソチルオエ——テルについて。日蚕雑 **45**: 358—364。
石川誠男、平尾常男　1965　摄食忌避に関するカイコ小顋の苦味物質受容器。日蚕雑 **34**:200
福田纪文、山下忠明　1968　蚕の食物選択に関する研究（I）家蚕および野蚕の成长を支える通飼料の开発。日蚕雑 **37**: 254。
山下忠明、福田纪文　1968　蚕の食物選択に関する研究（II）蚕の忌避性物質。日蚕雑 **37**: 254。
伊藤智夫　1975　蚕の人工飼料と大豆。化学と生物 **13**: 242—248。
荒井成彦　1968　飼料水分率が家蚕の食性および成长におよぼす影響。日蚕雑 **37**: 254。
伊藤智夫、堀江保宏、荒井成彦、渡辺辺喜二郎、篠原栄子　1968　家蚕人工飼料の飼料価と添加水分量との関係。蚕系研究，第 68 号: 39—46。
堀江保宏、井口民夫、渡辺喜三郎、中曾根正一、俩川弘明　1972　人工飼料の水分率が家蚕の水分利用に及ぼす影響。日蚕雑 **41**: 175—180。
新村正纯　1973　カイコの人工飼料の硬度について。日蚕雑 **42**: 173—177。
三好健勝、宫沢福寿　1965　蚕の人工飼料に関する研究（II）数种有机酸の效果について。日蚕雑 **34**: 201。
三好健勝、宫沢福寿　1965　蚕の人工飼料に関する研究（III）飼料のについて。日蚕雑 **34**: 201。
上田悟、木村良二、长楽勇、高桥澄雄　1975　人工飼料のリパーゼ处理が蚕の飼料摄食に及ぼす影響。日蚕雑 **44**: 400—6。
新村正纯　1972　発育に伴ウ嗜好性の变化を利用した蚕の人工飼育法。日蚕雑 **41**: 375—382。
高宫邦夫　1968　人工飼料に対する蚕品種の適応性。蚕系研究第 69 号: 27—34。

STUDIES ON THE ARTIFICIAL DIET OF SILKWORM *BOMBYX MORI* L.: THE EFFECTS OF DIETARY PHYSICO-CHEMICAL FACTORS ON THE FEEDING AND GROWTH OF THE SILKWORM

TSAI YOU-MING WANG HUNG-LIN HO CHIA-LUN LI SU-CHEN
(*Kiangsu Institute of Sericulture*)

This paper deals with the effects of some dietary physico-chemical factors on the feeding and growth of the silkworm. Some dietary requirements for the growth of the larvae have been studied and clarified. The results are as follows.

1. Our experiments showed that chlorogenic acid, morin and inositol promoted the feeding activity of the newly hatched larvae. β-Sitosterol and gallic acid were important for the normal growth of early instar larvae and chlorogenic acid, morin and inostiol also showed some favourable effects on that stage. In contrast, the above mentioned chemicals had very slight influence on the fifth instar larvae. In our experiments we did not find the feeding promotive effect of β-sitosterol on the newly hatched larvae.

2. There were feeding repellent factors in the ether extracts of the soya-bean cake powder, and a water soluble factor may be removed by treatment with 90% methanol. The methanol treated powder favoured the growth of the early instar larvae. The feeding repellent effect of the untreated cake powder was less conspicuous on the later instar larvae. Better results on larva rearing were obtained when sorbic acid was used as the antiseptic agent in the artificial diet in comparison with that when propionic acid was used.

3. The optimal water contents in the artificial diets for the newly hatched larvae, early instar larvae and later instar larvae were 77%, 73% and 71% respectively. Our experiments also showed that the results of larva rearing were influenced by the gel forming agents which contributed much to the physical character of the diets.

4. Suitable regulation of the dietary acidity to pH 5 with citric acid and ascorbic acid favoured both the larval feeding activity and the rearing results.

5. Based on the facts that the responses to the feeding promotive and repellent factors in the diets were different in different larval instars, it seems necessary to design different artificial diets for the larvae of different developmental stages: the newly hatched larvae, first to fourth instar larvae and the fifth instar larvae. There was also a difference in the different varieties of the silkworm to adapt the artificial diets which demonstrated the difference in their requirements for the physico-chemical factors in the diets.